

Evaluation des risques d'érosion en jeune plantation de palmiers à huile conduite en association avec des cultures vivrières à partir de l'équation de Wischmeier et Smith

P. HAMEL (1)

Résumé. — Présentation de l'équation mise au point par Wischmeier et Smith évaluant la charge de terre érodée en fonction de l'agressivité climatique, l'érodibilité du sol, la topographie, la culture et les techniques antiérosives. Des applications à différentes cultures vivrières et particulièrement à l'association palmiers à huile au jeune âge et cultures intercalaires sont présentées. Diverses méthodes antiérosives sont ensuite exposées.

POSITION DU PROBLÈME

Dans les plantations industrielles de palmiers à huile, implantées le plus souvent dans les secteurs de plus faibles pentes, les risques potentiels d'érosion (pertes en terre dues à l'énergie cinétique des pluies et au ruissellement) sont en moyenne moins importants qu'en palmeraie villageoise.

Cependant, certaines techniques culturales comme l'andainage ou le labour tardif, la mauvaise installation de la plante de couverture, le passage trop répété des véhicules, etc. peuvent faire apparaître, dans les secteurs de plus forte pente des phénomènes d'érosion plus ou moins rapides et prononcés.

La mise en culture des surfaces normalement occupées par une plante de couverture, dans les cultures pérennes industrielles ou villageoises, augmente de manière considérable les risques de dégradation du potentiel du sol (érosion, minéralisation, déstructuration). Les observations réalisées sur les essais d'association conduits par l'IRHO à La Mé en Côte d'Ivoire le confirment bien (Fig. 1, 2).

Dans ces conditions l'étude des précautions à prendre dans le cadre de cette intensification pour la préservation du sol apparaît comme un préalable indispensable.

Nous abordons l'étude des **problèmes d'érosion liés à la mise en place de cultures intercalaires en jeune palmeraie** : à partir de données expérimentales permettant de comprendre la dynamique de l'érosion, nous proposons un exemple de tableau d'évaluation des risques et des **recommandations en matière de lutte antiérosive applicables en particulier en secteur villageois**.

I. — FORMULE DE WISCHMEIER ET SMITH. DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Comme le montrent les mesures conduites par l'IRHO à Niangoloko (Burkina Faso) de 1956 à 1961, ou par l'ORSTOM en Côte d'Ivoire de 1956 à aujourd'hui, la caractérisation

au champ de l'érosion suppose la mise en œuvre de dispositifs importants et de protocoles longs et lourds.

En l'absence de ces dispositifs de mesure il est possible de faire appel à une approche plus théorique : la modélisation. Wischmeier et Smith ont proposé en 1960, à la suite de longues études de terrain aux Etats-Unis, une équation de modélisation de l'érosion qui s'écrit :

$$(A) \quad E = R \times K \times f(S.L.) \times C \times P.$$

avec :

E	=	charge de terre érodée, mesurée ou prévisible,
R	=	indice d'agressivité climatique,
K	=	coefficient d'érodibilité du sol nu travaillé,
f(S.L.)	=	facteur topographique,
C	=	coefficient « cultural »,
P	=	coefficient « pratiques antiérosives ».

L'érosion E est donc exprimée ici comme la résultante de 5 paramètres parfaitement définis qui, à eux tous, intègrent l'ensemble des données pédoclimatiques rattachées aux phénomènes érosifs. Plus la valeur de chacun des paramètres est petite plus l'érosion est faible.

Depuis lors, les chercheurs de l'ORSTOM et des divers instituts spécialisés se sont efforcés de définir à partir d'expériences conduites sur parcelles d'érosion, les valeurs de chaque paramètre, en particulier dans un certain nombre de situations d'Afrique de l'Ouest. Schématiquement ils obtiennent :

Pour E : appelé encore charge solide déplacée par érosion-ruissellement. Elle se mesure en tonnes/ha/an (mois ou jour...). Elle peut être ravinante ou en nappe (Tabl. I).

Les seuils d'érodibilité (c'est-à-dire l'érosion annuelle tolérable) les plus souvent admis sont de :

- 3 t/ha/an pour un sol ferrallitique de moins de 2 m,
- 6 t/ha/an pour un sol ferrallitique de plus de 2 m.

Pour R : appelé encore indice d'érosivité climatique.

Il se mesure en tonnes métriques/km² × mm/h et intègre l'énergie cinétique, la hauteur et l'intensité maximales

(1) Ingénieur agronome ; c/o IRHO-CIRAD, 11 Square Pétrarque, 75116 Paris (France).

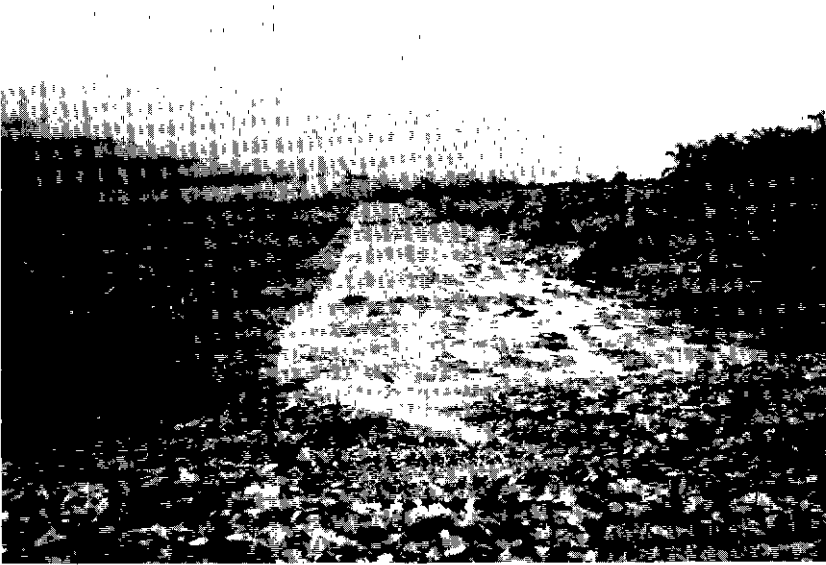


FIG. 1. — Interligne de palmeraie de 1^{re} année mis à nu pour une culture vivrière. Début de ravinement (Interrow of palm grove in its 1st year, cleared for food crops. Start of gully erosion)
Pente (Slope) : < 5 p. 100.

FIG. 2. — Interligne de palmeraie en 2^e année, conduite en association avec de l'arachide et de l'igname. Rigoles d'écoulement naturelles en formation (Interrow of oil palm grove in its 2nd year, with groundnut and yam intercropping. Natural runoff channels forming)
Pente (Slope) : < 5 p. 100.

sur 30 min des pluies de plus de 10 mm prises une à une sur la période retenue : 1 an, 1 mois, 1 jour,...

Exemples :

R annuel : 200 au Nord du Burkina Fasso,
500 au Nord } de la Côte d'Ivoire.
1 500 au Sud }

Dans les conditions de Basse Côte d'Ivoire, E. Roose a établi que $R \text{ annuel} = 0,6 \times P \text{ annuel}$.

Pour K : appelé encore indice d'érodibilité ou susceptibilité à l'érosion ou résistance à l'érosion.

Il s'agit d'un rapport dépourvu d'unité. Il caractérise l'aptitude du sol à s'éroder dans des conditions de pente et de travail du sol bien définies.

Exemples :

K varie de $\left\{ \begin{array}{l} 0,05 \text{ à } 0,12 \text{ pour des SFTFD sur sables tertiaires,} \\ 0,12 \text{ à } 0,15 \text{ pour des SFTFD sur granite,} \\ 0,15 \text{ à } 0,18 \text{ pour des SFTFD sur schistes,} \\ 0,2 \text{ à } 0,3 \text{ pour les sols ferrugineux.} \end{array} \right.$

Certaines de ces valeurs sont meilleures que celles obtenues pour un bon nombre de sols lessivés des régions tempérées.

Pour f (S.L.) : appelé encore coefficient de pente.

Il intègre à la fois l'inclinaison (S) et la longueur de la pente (L). Son expression est différente en fonction du climat (voir « Hypothèses de calculs » plus loin). L'inclinaison joue toujours le rôle prépondérant. Il s'agit d'un rapport sans unité mesurée dans des conditions bien définies. Il peut se déduire d'une abaque établie par Wischmeier et Smith (Fig. 3).

Pour C : appelé encore « couverture ».

Il prend en compte la nature et l'importance de la couverture végétale, des cailloux et du mode de culture employé. Il s'agit là encore d'un rapport sans unité mesurée dans des conditions bien définies (Tabl. II).

Pour P : appelé encore facteur antiérosif.

Il chiffre l'effet des techniques antiérosives mises en



œuvre par l'homme. Il s'agit d'un rapport calculé dans des conditions bien définies. Il est sans unité (Tabl. III).

Chacun des paramètres décrits ci-dessus varie dans les proportions suivantes :

— R	de 1 à 10,
— K	de 1 à 12,
— f (S.L.)	de 1 à 200,
— C	de 1 à 1 000,
— P	de 1 à 8.

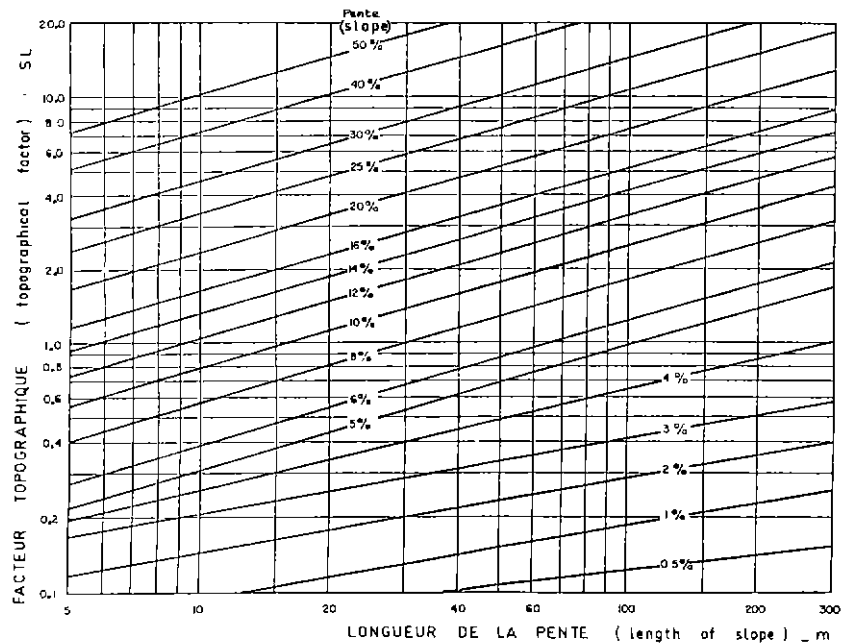


FIG. 3. — Facteur topographique (*Topographical factor*) [d'après (*according to*) Wischmeier & Smith, 1978].

Par conséquent compte tenu du caractère multiplicatif de l'équation de Wischmeier et Smith les **paramètres les plus importants sur lesquels l'agronome peut intervenir pour limiter l'érosion sont, dans l'ordre :**

- la couverture végétale et son mode de conduite (C),
- l'inclinaison de la pente (S),
- la technique de lutte antiérosive (P).

Ces données confirment, en les **hiérarchisant**, ce qu'intuitivement l'agronome pressent être les causes déter-

minantes de l'érosion. En effet, en zone tropicale humide « lorsque le couvert végétal est continu qu'il s'agisse de forêt, de fourrés, de savane ou d'un simple paillis, l'érosion et le ruissellement restent très faibles malgré l'agressivité des pluies tropicales et l'inclinaison de la pente... ».

En revanche, « lorsque le sol est totalement dénudé, les phénomènes d'érosion deviennent catastrophiques, les pertes en terres sont multipliées par 1 000 et le ruissellement par 20 à 50 » [E. Roose].

TABLEAU 1. — Exemples de charges solides déplacées par érosion-ruissellement
(*Examples of solid loads displaced by erosion-runoff-*)

Conditions de milieu (<i>Environmental conditions</i>)	Pente (<i>Slope</i>) P. 100	Erosion t/ha/an (/yr)		
		Sol nu (<i>Bare soil</i>)	Culture (<i>Crop</i>)	Milieu naturel (<i>Natural environment</i>)
Forêt secondaire ; sempervirente ; climat tropical, humide à 4 saisons (<i>Secondary evergreen forest, tropical climate humid throughout 4 seasons</i>)	4,5	60		
2 100 mm/an (/yr)	7	138	0,1 à 90	0,03
Sol ferrallitique très fortement désaturé (SFTFD) (<i>Very highly desaturated ferrallitic soil</i> — VHDSF —)	20	570		0,2
Adiopodoumé (Sud Ivoirien — <i>Southern Côte d'Ivoire</i>)	65			1,0
Savane arborée claire à 2 saisons (<i>Wooded savanna bright for 2 seasons</i>) 800 mm/an (/yr)	0,5	10 à 20	0,6 à 8	0,01 nb (1)
Ouagadougou (Burkina Faso)				0,15 b (1)

(1) nb = non brûlé (*not burnt*) ; b = brûlé (*burnt*).

[d'après E. Roose]

TABLEAU II. — Facteur couvert végétal \times techniques culturales (C) pour diverses cultures en Afrique Occidentale [Roose, 1977]

	C annuel moyen
Sol nu	1
Forêt, fourré dense, culture bien paillée	0,001
Savane et prairie en bon état	0,01
Savane ou prairie brûlée ou surpâturée	0,1
Plante de couverture à développement lent ou plantation tardive, 1 ^{re} année	0,3 à 0,8
Plante de couverture à développement rapide ou plantation hâtive, 1 ^{re} année	0,01 à 0,1
Plante de couverture à développement lent ou plantation tardive, 2 ^e année	0,01 à 0,1
Maïs, mil, sorgho (en fonction des rendements)	0,4 à 0,9
Riz de plateau en culture intensive	0,1 à 0,2
Coton, tabac en 2 ^e cycle	0,5 à 0,7
Arachide (en fonction du rendement et de la date de plantation)	0,4 à 0,8
Manioc, 1 ^{re} année et igname (en fonction de la date de plantation)	0,2 à 0,8
Palmier, hévéa, café, cacao avec plantes de couverture	0,001 à 0,3
Ananas à plat (en fonction de la pente) plantation hâtive	0,001 à 0,3 (1)
— avec résidus brûlés	0,2 à 0,5
— avec résidus enfouis } plantation tardive	0,1 à 0,3
— avec résidus en surface	0,001 à 0,01
Ananas sur billons cloisonnés (pente 7 p. 100), plantation tardive	0,1

(1) D'après Valentin et Roose (1979).

TABLEAU III. — Valeurs du facteur antiérosif P en fonction de différentes techniques antiérosives

	P
Etats-Unis	
• labour isohypse	0,75
• labour et billonnage isohypses	0,50
• labour et bandes enherbées isohypses	0,25
Afrique de l'Ouest	
• billonnage isohypse cloisonné	0,2 à 0,1
• bandes antiérosives de 2 à 4 mètres de large	0,3 à 0,1
• mulch de paille de plus de 6 t/ha	0,01
• mulch Curasol à 60 g/l/m ² (selon la pente et culture)	0,5 à 0,2
• prairie temporaire ou plante de couverture (selon le couvert)	0,5 à 0,01
• bourrelets de terre armés de pierres ou murettes en pierres sèches tous les 80 cm de dénivellée, plus labour isohypse, plus binage, plus fertilisation	0,1

II. — EXEMPLE D'APPLICATION DE LA FORMULE DE WISCHMEIER ET SMITH

1. — Hypothèses retenues pour les calculs.

Cas de la station IRHO de La Mé en Basse Côte d'Ivoire ; sol ferrallitique très fortement désaturé sur sables tertiaires ; cultures vivrières conduites sur 1 année, un interligne sur 2.

$E = 6 \text{ t/ha/an}$; $R = 1\,000$; $K = 0,10$;

$f \text{ (S.L.)} = (0,76 + 0,53.S + 0,076.S^2)$;

$S = 5, 10 \text{ ou } 20 \text{ p. } 100$;

$L = \text{valeur recherchée (m)}$;

$C = 1 \text{ pour sol nu, } 0,6 \text{ pour manioc, } 0,1 \text{ pour riz pluvial ;}$

$C = 0,3 \text{ palmier + Pueraria en N-1 (avant plantation),}$

$0,2 \text{ palmier + Pueraria en N0 (0 à 12 mois),}$

$0,1 \text{ palmier + Pueraria en N1 (13 à 24 mois),}$

$0,001 \text{ palmier + Pueraria en N2 (25 à 36 mois),}$

(exemple d'approximation) ;

et $C = 1/2 \text{ C palmier, Pueraria} + 1/2 \text{ C culture associée}$
(vérifiée par l'ORSTOM) ;

$P = 1$, absence totale de lutte antiérosive.

• But à atteindre.

Nous cherchons à résoudre le problème pratique suivant : « Quelle longueur peut-on accorder à une sole de telle culture vivrière, conduite en intercalaire, connaissant la pente, pour ne pas dépasser le seuil d'érodibilité ? »

Dans le cas précis étudié (IRHO La Mé), l'équation de Wischmeier et Smith devient :

$$(B) \quad L = \frac{36}{C^2 (0,76 + 0,53 S + 0,0076 S^2)^2}$$

La réponse est fournie dans le Tabl. IV.

2. — Validité des résultats.

Ce tableau constitue avant tout une illustration des possibilités d'utilisation de l'équation de Wischmeier et Smith devant servir de base de réflexion à une lutte antiérosive raisonnée.

Aussi, les chiffres avancés ne permettent-ils que des

comparaisons entre les différentes situations culturales retenues (riz pluvial, manioc et sol nu). En aucun cas ils ne doivent être pris comme des valeurs absolues.

Par ailleurs, l'expérience a prouvé que pour chaque région un réajustement de la plupart des paramètres était nécessaire.

• Exemples d'application de ce type de tableau.

— *Cas du manioc.* — Ainsi, dans les conditions de La Mé, l'association du manioc en palmeraie doit être évitée pour des pentes de plus de 10 p. 100 (en l'absence de lutte antiérosive). Pour $S = 5$ p. 100 la longueur de sole tolérable est d'environ 6 m en N-1 et de 14 m en N2. Il faut donc prévoir, par exemple, des bandes antiérosives.

— *Combinaison de plusieurs cultures vivrières.* — Le coefficient est calculé en tenant compte soit du pourcentage des surfaces occupées par chaque culture dans le cas d'une association, soit du pourcentage de temps occupé par chaque plante dans le cas d'une rotation.

Par exemple dans le cas de l'association, très courante en Côte d'Ivoire, du gombo ($C = 0,8$) et de l'aubergine ($C = 0,4$) on obtiendrait :

Palmier (+ *Pueraria*) en N1 = 50 p. 100 de la surface
Gombo = 25 p. 100 de la surface
Aubergine = 25 p. 100 de la surface
 $C = 1/2 (0,1) + 1/4 (0,8) + 1/4 (0,4) = 0,35$.

En se reportant au tableau et à $C = 0,35$ on découvre que cette combinaison doit être évitée dans les conditions de La Mé lorsque la pente excède 10 p. 100 et que pour $S = 5$ p. 100 la longueur de sole tolérable est d'une dizaine de mètres.

— *Changement de situation géographique.* — Dans le cas de modifications de climat, de sol ou de lutte antiérosi-

ves il faut revenir à l'équation de Wischmeier et Smith (A) et établir, si possible à partir de données d'études sur l'érosion existantes, un nouveau tableau.

• Conclusions.

L'ensemble de ces données fait clairement apparaître :

Qu'il existe des différences très nettes de sensibilité à l'érosion d'une culture vivrière à une autre.

Qu'en l'absence de pratiques antiérosives, certaines cultures intercalaires doivent être absolument proscrites à partir d'un certain degré d'inclinaison.

Qu'il est possible, à condition de mettre en place une lutte antiérosive raisonnée, d'implanter des cultures vivrières même sur des pentes fortes sans courir le risque de voir se dégrader le potentiel du sol.

III. — QUELQUES RECOMMANDATIONS POUR UNE LUTTE ANTIÉROSIVE FACILEMENT APPLICABLE EN PALMERAIE VILLAGEOISE

Dès 1961, R. Christoir (IRHO) avait montré dans les conditions de Niangoloko (Burkina Faso), et pour des pentes très faibles (0,5 p. 100), l'effet déjà sensible du mode de culture sur l'érosion :

1956 à 1961 : Rotation sexennale combinant arachide, mil et jachère.

A plat	72 m ³ ruisselés (soit 5 p. 100 des pluies) 25 t/ha exportés (soit 1,5 mm de sol disparu)
En billons isohypes	23 m ³ ruisselés (soit 2 p. 100 des pluies) 6,5 t/ha exportés (soit 0,4 mm de sol disparu)

TABLEAU IV. — Longueur tolérable en mètre d'une sole cultivée en intercalaire en jeune palmeraie (cas de l'IRHO à La Mé)
(Tolerable length in metres of a break grown as an intercrop in a young oil palm grove - case of the IRHO La Mé)

		D				E				F				G			
Occupation des interlignes (of interrows)		A — Riz pluvial (Rainfed rice) Sensibilité à l'érosion minimale (Susceptibility to min. erosion)				B — Manioc (Cassava) Sensibilité à l'érosion moyenne (Susceptibility to mod. erosion)				C — Sol nu (Bare soil) Sensibilité à l'érosion maximale (Susceptibility to max. erosion)							
C Cultures vivrières (Food crops)		0,1				0,6				1							
Année de plantation (Planting year)	C Palmier (oil palm) + Pueraria	S	5	10	20	S	5	10	20	S	5	10	20				
		C					C					C					
N - 1	0,3	0,2	31,9	4,8	0,5	0,45	6,3	0,9	0,1	0,65	3,0	0,4	0,05				
N 0	0,2	0,15	56,7	8,5	0,9	0,40	7,9	1,2	0,1	0,60	3,5	0,5	0,06				
N 1	0,1	0,10	127,7	19,1	2,0	0,35	10,4	1,5	0,2	0,55	4,2	0,6	0,07				
N 2	0,001	0,05	510,8	77,1	8,3	0,30	14,2	2,1	0,2	0,50	5,1	0,8	0,08				

avec (where) D = Banane (Banana) ; C = 0,3 ; E = Igname (Yam), aubergine ; C = 0,4 ;

F = Haricot, arachide, niébé (Beans, groundnut, cowpeas) ; C = 0,7 ; G = Gombo, maïs (Gumbo, maize) ; C = 0,8.

Plus récemment, E. Roose (ORSTOM) a chiffré l'effet de bandes antiérosives végétales pour des pentes plus fortes et en divers secteurs (Tabl. V).

TABLEAU V. — Effets de bandes végétales isohypses de différentes largeurs sur l'érosion
(Effects on erosion of different widths of plant strips along contours)

Localité (Location)	Largeur de la bande végétale isohypse : graminéen (Width of plant-strip along contours : grassy) (m)	0	2	4
Adiopodoumé 1965 — 2 300 mm Pente (Slope) : 7 p. 100 Manioc (Cassava)	Ruissellement (Runoff) (R) P. 100	16,5	10,3	6
	(E)			
	Charge en terre érodée (load of land eroded) t/ha/an (/yr)	18,9	5,7	1,8
Bouaké 1965 — 1 180 mm Pente (Slope) : 4 p. 100 Maïs (Maize)	Ruissellement (Runoff) (R) P. 100	12,6	5,1	3,8
	(E)			
	Charge en terre érodée (load of land eroded) t/ha/an (/yr)	7,6	0,9	0,6

Enfin, le tableau relatif au facteur antiérosif (Tabl. III) montre combien la mise en place d'une technique antiérosive peut diminuer les pertes en terre d'une manière importante.

Certes, dans les secteurs à risques, le maintien le plus efficace du potentiel du sol passe par l'intensification des cultures, des semis hâtifs et denses, une fertilisation équilibrée, la préparation du sol, le paillage ou l'utilisation de plantes de couverture, de bandes végétales, voire même par l'application de conditionneurs de sol, mais le niveau technique, les moyens et le mode de vie des planteurs villageois ne permettent que rarement l'application de ces pratiques.

Aussi, nous proposons ici quelques recommandations très simples mais primordiales en matière d'érosion très faciles à mettre en œuvre en particulier en palmeraie villageoise (qui peuvent parfaitement être appliquées même en l'absence d'une estimation des risques d'érosion). La synthèse conduite dans le premier chapitre montre que la dynamique de l'érosion tient, dans l'ordre, à :

• La couverture végétale et son mode de conduite (C).

A ce niveau il faut veiller pour les surfaces non conduites en vivrier à installer une plante de couverture la plus belle et la plus homogène possible avant la saison des pluies : pour un *Pueraria* bien installé $C = 0,01$. Pour les surfaces cultivées il faut retenir, lorsque le choix se présente, les cultures les moins sensibles à l'érosion. Les plus sensibles doivent être retenues pour les secteurs de plus faible pente. Il faut, par exemple, préférer un igname ($C = 0,4$) à un maïs ($C = 0,8$).

• La pente (S et L).

A ce niveau il est conseillé d'éviter les secteurs les plus pentus. Si les exigences sont telles que même les pentes fortes doivent être cultivées, la pratique antiérosive devient une nécessité.

• La lutte antiérosive (P).

Les plus simples à mettre en place sont :

- le mulch de paille qui peut réduire l'érosion par 100,
- le billonnage isohypse cloisonné qui peut réduire l'érosion de moitié,
- les bandes antiérosives végétales de 2 à 4 m de large qui peuvent réduire l'érosion par 10.

Par exemple, l'andainage, qui en extension ou en replantation est indispensable, pourrait sans surcoût se faire dans un sens plutôt perpendiculaire à la pente. Une fois le recrû et la plante de couverture installés, ces andains en courbe de niveau constituent des bandes antiérosives efficaces entre lesquelles des cultures vivrières peuvent être parfaitement conduites sans risques d'érosion même sur des pentes assez fortes. Ainsi à La Mé, pour une plantation de 1^{re} année en N0 conduite avec du maïs un interligne sur deux sur une pente de 15 p. 100, on obtiendrait à partir de l'équation de Wischmeier et Smith :

	Andainage isohypse	Seuil d'érodibilité	Andainage dans le sens de la pente
Erosion t/ha/an	5	6	50

Par ailleurs, les quelques exemples retenus ici montrent combien l'infiltration (1 - ruissellement) est favorisée par ces techniques :

Techniques	Paillage	Sol nu	Billonnage isohypse cloisonné	A plat isohypse	Bande d'arrêt de 4 m	Pas de bande
R P 100	≤ 5	> 25	1	17	6	16,5
Observations	Pente ≤ 23 p. 100		Ananas		Manioc Pente de 7 p. 100	

Le léger surplus de travail requis par ces techniques peut très rapidement se traduire par un surplus de récolte appréciable grâce à l'amélioration des réserves en eau du sol.

• Palmier.

En ce qui concerne les palmiers eux-mêmes des mesures particulières doivent également être prises pour aider leur implantation et leur nutrition hydrique dans les parcelles en pente.

Au minimum, il faut envisager la mise en place de terrasses individuelles ou mieux la création de banquettes en courbes de niveaux selon les Conseils IRHO N° 152 (1).

• Conclusion.

La perspective d'utilisation par des cultures vivrières des bandes traditionnellement occupées par du *Pueraria* en palmeraie prévue dans le cadre du programme ivoirien d'autosuffisance alimentaire nécessite au préalable l'étude des risques encourus par les sols.

La synthèse conduite ici montre la possibilité d'utiliser, en prenant certaines précautions, l'équation de modélisation de Wischmeier et Smith pour quantifier les risques d'érosion. Par ailleurs, cette équation fait apparaître de manière très claire l'effet relatif des paramètres C, S, L et P connus pour jouer un rôle sur l'érosion. L'exemple étudié devrait servir de base de réflexion pour inciter le planteur et son encadrement à évaluer le risque potentiel d'érosion avant culture et à prendre les mesures nécessaires.

Enfin, que les risques d'érosion aient été chiffrés ou

non, il suffit d'instaurer des pratiques simples et peu coûteuses pour préserver le potentiel du sol pour les cycles futurs tout en améliorant le bilan hydrique du sol.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHRISTOÏ R (1966). — Mesure de l'érosion en Haute-Volta. *Oléagineux*, 21, N° 8-9, p. 531-534.
- [2] ROOSE E. J. (1980). — Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sans végétation naturelle ou cultivée. *Thèse Docteur ès Sciences, Université d'Orléans, Fr.*, 587 p.
- [3] ROOSE E. J. (1973). — Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire. *Thèse Docteur Ingénieur, Fac des Sciences, Univ. d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*, 148 p.

SUMMARY

Assessment of the risks of erosion in young oil palm plantations where food crop intercropping is practised, based on the Wischmeier and Smith equation.

P. HAMEL, *Oléagineux*, 1986, 41, N° 10, p. 419-428

Presentation of the equation developed by Wischmeier and Smith for assessing the load of earth eroded depending on the aggressivity of the climate, soil erodibility, topography, the crop involved and the erosion control measures employed. Its applications to different food crops and particularly to oil palm in association with intercrops, are presented. Various erosion control methods are then discussed.

RESUMEN

Evaluación de los riesgos de erosión en plantaciones jóvenes de palma africana manejadas con asociación de cultivos de alimentos a partir de la ecuación de Wischmeier y Smith.

P. HAMEL, *Oléagineux*, 1986, 41, N° 10, p. 419-428.

Se presenta la ecuación establecida por Wischmeier y Smith, por la que se evalúa la carga de tierra erosionada en función de la agresividad del clima, de la facilidad con que el suelo se erosiona, de la topografía, del cultivo y de las técnicas de lucha contra la erosión. Se presentan aplicaciones a diversos cultivos de alimentos, especialmente a la asociación de las palmas africanas jóvenes con los cultivos intercalados, exponiéndose luego varios métodos de control de la erosión.

Assessment of the risks of erosion in young oil palm plantations where food crop intercropping is practised, based on the Wischmeier and Smith equation

P. HAMEL (1)

WHERE THE PROBLEM OCCURS

In commercial oil palm plantations, most often located in sectors with the gentlest slopes, the potential risks of erosion (loss of soil through the kinetic energy of the rain and rainwater runoff) are not normally as great as in a smallholder plantation.

However, certain crop techniques, such as windrowing, late tilling, poor establishment of the cover crop, the too frequent passage of vehicles, etc. can lead to more or less rapid and pronounced erosion phenomena in sectors with the steepest slopes.

The use of such areas, which are normally covered by a cover crop, for the cultivation of commercial or smallholder perennial crops considerably increases the risks of soil potential degradation (erosion, mineralization, destructurization). The observations made by the IRHO in intercropping trials undertaken at La Mé in Côte d'Ivoire clearly confirm this (Figs. 1 and 2).

Under the conditions of the study, such intensification requires that indispensable precautions be taken to ensure soil conservation.

We undertake here the study of erosion problems associated with intercropping in a young oil palm grove : based on experimental data making it possible to determine erosion dynamics, we propose an example of a risk assessment table and recommendations for an erosion control method particularly applicable to the smallholder sector.

I. — THE WISCHMEIER AND SMITH FORMULA. EXPERIMENTAL DATA

As shown by the measurements taken by the IRHO at Niangoloko (Burkina Faso) from 1956 to 1961 or by ORSTOM in Côte d'Ivoire from 1956 to the present day, the characterization

(1) Agronomist ; c/o IRHO-CIRAD, 11 Square Pétrarque, 75116 Paris (France).

of erosion in the field necessitates the bringing into play of a considerable amount of equipment and long and heavy protocols.

It the absence of these measuring devices, a more theoretical approach can be taken : modelling. Wischmeier and Smith proposed the following modelling equation in 1960, after lengthy field studies in the United States :

$$(A) \quad E = R \times K \times f(S.L.) \times C \times P.$$

where :

- E = the load of eroded soil, measured or anticipated,
- R = climatic erosivity factor,
- K = bare worked soil erodibility coefficient,
- f (S.L.) = topographical factor,
- C = « crop » coefficient,
- P = « erosion control » practices.

The erosion E is thus expressed here as the resultant of 5 perfectly defined parameters, which all integrate all the pedo-climatic data connected with erosion phenomena. The smaller the value of each parameter, the lower the erosion.

Since then, ORSTOM researchers and various specialized institutes have endeavoured to define the values of each parameter, based on experiments conducted on erosion plots, particularly in a certain number of situations in West Africa. In simple terms they obtain :

For E : also called the solid load displaced by erosion-runoff. It is measured in tonnes/ha/yr (month or day, etc). It may be gully erosion or sheet erosion (Table I).

The most commonly accepted erosion thresholds (i.e. tolerable annual erosion) are :

- 3 t/ha/yr for a ferrallitic soil of less than 2 m,
- 6 t/ha/yr for a ferrallitic soil of more than 2 m.

For R : also called the climatic erosivity factor.

It is measured in metric tonnes/km² × mm/hr and integrates kinetic energy, the height and maximum intensity over 30 min of rainfall greater than 10 mm, taken case by case over a given period : 1 yr, 1 month, 1 day, etc.

Examples :

Annual R : — 200 in the North of Burkina Faso,
— 500 in the North } of Côte d'Ivoire.
— 1,500 in the South }

Under Lower Côte d'Ivoire conditions, E. Roose established that annual R = 0.6 × P per year.

For K : also called the erodibility, erosion susceptibility or erosion resistance coefficient.

This is a ratio for which there are no units. It characterizes the ability of the soil to be eroded under well defined slope or work conditions.

Examples :

K varies from { 0.05 to 0.12 for VHDFS's on tertiary sands,
0.12 to 0.15 for VHDFS's on granite,
0.15 to 0.18 for VHDFS's on shale,
0.2 to 0.3 on ferruginous soil.

Certain of these values are better than those obtained for a good number of leached soils in temperate regions.

For f (S.L.) : also called the slope coefficient.

This integrates both slope (S) and the length of the slope (L.). It is expressed differently depending on the climate (see « Calculation hypotheses » later). Slope always plays the principal role. It is a ratio without units, measured under well defined conditions. It can be deduced from a table drawn up by Wischmeier and Smith (Fig. 3).

For C : also called « Cover ».

This takes into account the type and abundance of plant cover, stones and the crop technique employed. Once again this is a ratio without units measured under well defined conditions (Table II - see below).

For P : also called erosion control factor.

This expresses in figures the erosion control techniques implemented by man. It is a ratio calculated under well defined conditions. There are no units (Table III - p. 427).

Each of the parameters described above varies in the following proportions :

- R from 1 to 10,
- K from 1 to 12,
- f (S.L.) from 1 to 200,
- C from 1 to 1,000,
- P from 1 to 8.

Consequently, given the multiplicative nature of the Wischmeier and Smith equation, **the most important parameters for which agronomist intervention is possible to limit erosion are, in order :**

- the cover crop and its method of cultivation (C),
- steepness of the slope (S),
- erosion control technique (P).

Once placed in **hierarchical order**, these data confirm what the agronomist intuitively believes to be the determinant causes of erosion. In effect, in a humid tropical zone « when the plant cover is continuous and whether is be forest, thickly wooded areas, savanna, or a simple mulch, erosion and runoff remain very low, despite the aggressivity of tropical rain and the steepness of the slopes, etc. »

On the other hand, « when the soil is totally bare, erosion phenomena become catastrophic ; soil losses are multiplied by 1,000 and runoff by 20 to 50 » (E. Roose).

TABLEAU II. — Plant cover × crop techniques factor (C) for various crops in Western Africa (Roose 1977)

	Mean annual C
Bare soil	1
Forest, densely wooded areas, well mulched crop	0.001
Savanna and prairie in good condition	0.01
Burnt or overgrazed savanna or prairie	0.1
Slowly developing cover crop, or late planting, 1st year	0.3 to 0.8
Rapidly developing cover crop, or early planting, 1st year	0.01 to 0.1
Slowly developing cover crop, or late planting, 2nd year	0.01 to 0.1
Maize, millet, sorghum (depending on yields)	0.4 to 0.9
Plateau rice, intensive cultivation	0.1 to 0.2
Cotton, tobacco, 2nd cycle	0.5 to 0.7
Groundnut (depending on yield and planting date)	0.4 to 0.8
Cassava, 1st year, and yam (depending on planting date)	0.2 to 0.8
Oil palm, rubber, coffee, cocoa with cover plants	0.001 to 0.3
Pineapple, no ridging (depending on slope) early planting	0.001 to 0.3 (1)
— with burnt waste	0.2 to 0.5
— with buried waste } Late planting	0.1 to 0.3
— with waste on surface }	0.001 to 0.01
Pineapple with compartmentalized ridges (slope 7 p. 100) late planting	0.1

(1) According to Valentin and Roose [1979].

II. — EXAMPLE OF WISCHMEIER AND SMITH FORMULA APPLICATION

1. — Hypothesis adopted for the calculations.

Case : the IRHO station of La Mé, Lower Côte d'Ivoire. Soil : very desaturated ferrallitic on tertiary sands. Food crops grown for 1 year, every other interrow.

$E = 6 \text{ t/ha/yr}$; $R = 1,000$; $K = 0.10$;

$f(S.L.) = (0.76 + 0.53.S + 0.076.S^2)$;

$S = 5, 10 \text{ or } 20 \text{ p. } 100$;

$L = \text{value sought (m)}$;

$C = 1 \text{ for bare soil, } 0.6 \text{ for cassava, } 0.1 \text{ for rainfed rice}$;

$C = 0.3 \text{ oil palm} + \text{Pueraria in N-1 (before planting)}$

$0.2 \text{ oil palm} + \text{Pueraria in N0 (0 to 12 months)}$,

$0.1 \text{ oil palm} + \text{Pueraria in N1 (13 to 24 months)}$,

$0.001 \text{ oil palm} + \text{Pueraria in N2 (25 to 36 months)}$,
(approximation example) ;

and $C = 1/2 C \text{ oil palm, Pueraria} + 1/2 C \text{ intercrop}$
(checked by ORSTOM) ;

$P = 1$, total absence of erosion control measures.

• Goal to be achieved.

We are attempting to solve the following practical problem :
« What length can be accorded to a break of a food crop, grown as an intercrop, knowing the slope which should not be exceeded to overstep the erodibility threshold ? »

As concern the case studied (IRHO, La Mé), the Wischmeier-Smith equation becomes :

$$(B) \quad L = \frac{36}{C^2 (0.76 + 0.53 S + 0.0076 S^2)}$$

The reply is given in Table IV.

2. — Validity of results.

Above all, this table constitutes an illustration of the possibilities of using the Wischmeier and Smith equation which is to be used as a basis for working out a rational erosion control method.

Hence, the figures given only allow comparisons between the different crop situations considered (Rainfed rice, cassava and bare soil). In no case should they be taken as absolute values.

Furthermore, the experiment has proven that most of the parameters needed to be readjusted for each region.

• Examples of application for this type of table.

— *Cassava*. — Under La Mé conditions, cassava as an intercrop with oil palm should be avoided for slopes greater than 10 p. 100 (in the absence of erosion control measures). For $S = 5 \text{ p. } 100$, the length of the tolerable break is 6 m in N1 and 14 m in N2. Erosion control strips therefore have to be envisaged.

— *Combination of several food crops*. — The coefficient is calculated bearing in mind either the percentage of surface area covered by each crop, in the case of intercropping, or the percentage of time occupied by each plant in the case of rotation.

For example, in the case of a very common intercropping system in Côte d'Ivoire, gumbo ($C = 0.8$) and aubergine ($C = 0.4$) the following would be obtained :

	p 100 of the surface area
Oil palm (+ <i>Pueraria</i>) in N1	50
Gumbo	25
Aubergine	25

$$C = 1/2 (0.1) + 1/4 (0.8) + 1/4 (0.4) = 0.35.$$

By checking in the table at $C = 0.35$, it can be seen that this combination should be avoided under La Mé conditions when the slope exceeds 10 p. 100 and for $S = 5 \text{ p. } 100$ the tolerable break length is ten or so metres.

— *Change of geographic situation* : where modifications to the climate, soil or erosion control measures arise, it is necessary to return to the Wischmeier and Smith equation (A) and draw up a new table, based on data from studies of existing erosion if possible.

• Conclusions.

All these data clearly reveal :

That there exist marked differences in susceptibility to erosion from one food crop to the next.

That, in the absence of erosion control measures, certain intercrops must absolutely be avoided when a certain steepness of slope is exceeded.

That it is possible to plant food crops even on steep slopes, without risking the degradation of soil potential, provided that rational erosion control measures are taken.

III. — A FEW RECOMMENDATIONS FOR EROSION CONTROL MEASURES EASILY APPLIED ON A SMALLHOLDER OIL PALM PLANTATION

As early as 1961, R. Christol (IRHO) showed that, under Niangoloko conditions (Burkina Faso) and for very gentle slopes (0.5 p. 100), the cultivation method already had a marked effect on erosion.

1956 to 1961 : Sexennial rotation combining groundnut, millet and fallow.

Flat	72 m ³ runoff (i.e. 5 p. 100 of rainwater). 25 t/ha removed (i.e. 1.5 mm of soil disappeared)
In ridges along contours	23 m ³ runoff (i.e. 2 p. 100 of rainwater) 6.5 t/ha removed (i.e. 0.4 mm of soil disappeared).

More recently, E. Roose (ORSTOM) calculated the effect of strips of plants used erosion control on steeper slopes in various sectors (Table V).

Finally, the table relative to the erosion control factor (Table III) shows how the implementation of an erosion control technique can considerably reduce soil losses.

In sectors at risk, it is certain that the most effective way of conserving soil potential is through intensified cultivation, early and dense sowing, balanced fertilization, soil preparation, mulching, or the use of a cover crop, plant strips, or even the application of soil conditioners, but the technical level and life

TABLEAU III. — Values of erosion control factor P depending on the different erosion control techniques used

	P
United States	
• ploughing along contours	0.75
• ploughing and ridging along contours	0.50
• ploughing and grassy strips along contours	0.25
Western Africa	
• compartmentalized ridging along contours	0.2 to 0.1
• 2 to 4 m wide erosion control strips	0.3 to 0.1
• straw mulch of more than 6 t/ha	0.01
• Curasol mulch at 60 g/l/m ² (according to crop and slope)	0.5 to 0.2
• temporary prairie or cover crop (depending on cover crop)	0.5 to 0.01
• Lines of raised earth reinforced with stones or small dry stone walls every 80 cm of level change, plus ploughing along contours, plus hoeing, plus fertilization	0.1

style of the smallholders and the resources available to them rarely enable the application of these practices.

Hence, we propose here a few recommendations which are very simple, but of prime importance in erosion control ; they are very easy to apply, particularly on a smallholder plantation (and can even be applied in the absence of an erosion risk estimate). The brief explanation given in the first section shows that erosion dynamics depend on the following, in order :

• **The plant cover and its method of cultivation (C).**

At this level, care must be taken that the finest and most homogeneous cover crop possible is established on those surfaces not used for food crops, before the rainy season : for well established *Pueraria* $C = 0.01$. For cultivated areas, when there is a choice possible, the crops least susceptible to erosion should be used. The plants most susceptible to erosion should be kept for the sectors with the gentlest slopes, e.g. preference should be given to yam ($C = 0.4$) over maize ($C = 0.8$).

• **Slope (S and L).**

It is advised to avoid the steepest slopes. If demand is such that even steep slopes have to be used for cultivation, erosion control measures become a necessity.

• **Erosion control (P).**

The most simple measures to apply are :

- straw mulch which can reduce erosion by 100,
- compartmentalized ridging along contours can reduce erosion by half,
- erosion control plant strips from 2 to 4 metres wide can reduce erosion by 10.

For example, windrowing, which is essential when extending or replanting, could be preferably be undertaken perpendicularly to the slope, without any increase in cost. Once the new growth and the cover crop are established, these windrows along the contours constitute effective erosion control strips, between which food crops could be perfectly well cultivated without risk of erosion, even on quite steep slopes. Thus, at La Me, for a first year plantation in N0, with maize in every other interrow on a 15 p. 100 slope, the following would be obtained from the Wischmeier and Smith equation :

	Windrow along contours	Erodibility threshold	Windrowing in the direction of slope
Erosion t/ha/yr	5	6	50

Furthermore, the few examples mentioned here show how infiltration (1 — runoff) is favoured by these techniques :

Techniques	Mulch	Bare soil	Compartmentalized ridging along contours	Flat on same level	4 m barrier strip	No strip
$\frac{R}{P} \frac{in}{100}$	≤ 5	> 25	1	17	6	16.5
Remarks	Slope ≤ 23 p. 100		Pineapple		Cassava 7 p. 100 slope	

The small amount of extra work required for these techniques can quite rapidly be transformed into a considerable harvest surplus, through the improvement of the soil's water reserve

• **Oil palm.**

As regards oil palms themselves, special measures should also be taken to help their establishment and water supply in plots with slopes.

At least the creation of individual terraces should be considered, or better still, the creation of earth banks along contours, as indicated in IRHO Advice Notes No. 152 (1).

• **Conclusion.**

The prospects for using the strips normally occupied by *Pueraria* in oil palm groves for the cultivation of food crops under the Ivorian food self-sufficiency programme, require the prior study of the risks run by the soils involved.

The brief explanation given herein shows the possibility of using the Wischmeier and Smith equation to quantify erosion risks, so long as certain precautions are taken. In addition, this equation clearly brings out the relative effect of the parameters C, S, L and P, which are known to play a role in erosion. The example studied should serve as food for thought to encourage the planter and his supervisors to evaluate the potential risk of erosion before planting and to take the necessary steps.

Finally, whether erosion risks are calculated or not, it is sufficient to practise certain simple, relatively cheap techniques to conserve soil potential for future cycles, whilst improving the amount of water in the soil.

(1) *Oléagineux*, 1975, 30, N° 7, p. 299-302.

